

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang akan dibahas pada sub bab ini yaitu mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan saat ini.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil pencaharian, didapatkan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Berdasarkan dari hasil pencaharian melalui situs *onesearch.com* dengan *keyword* yang berhubungan dengan penelitian yang ingin dilakukan, maka berikut ini adalah hasil pencarian literatur review tersebut:



Gambar 2.1. Literatur Review

Sementara itu, berikut ini adalah ringkasan dari hasil pencaharian jurnal tersebut: Tahun 2013 Hamideh Razavi, Ehsan Ramezanifar, dan Jalal Bagherzadeh melakukan penelitian untuk menentukan beberapa metode perlakuan terhadap mesin dan operator untuk mendapatkan tingkat kebisingan terkecil dengan biaya yang minimum. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu melalui 2 pendekatan, yaitu pendekatan untuk mereduksi kebisingan dan pendekatan untuk meminimasi total cost. Pendekatan untuk mereduksi kebisingan dibagi kembali menjadi 2 pendekatan. Pendekatan pertama yaitu berkonsentrasi pada tinggi rendahnya level paparan kebisingan di lokasi kebisingan untuk setiap operator. Pendekatan kedua yaitu memfokuskan pada waktu paparan kebisingan untuk setiap operator untuk setiap level paparan kebisingan. Pendekatan untuk meminimasi total cost dilakukan dengan menggunakan pendekatan hybrid, yang nantinya akan dimodelkan ke dalam bentuk matematis untuk menggambarkan tipe kebisingan. Nantinya, model matematis ini akan dikembangkan ke dalam bentuk model pemrograman komputer dengan beberapa dimensi variabel. Hasil

akhir dari penelitian ini adalah untuk menentukan strategi yang memberikan nilai *cost* semimum mungkin dengan beberapa kondisi atau perlakuan yang diberikan terhadap operator yang mendapatkan paparan kebisingan terbesar.

Tahun 2011 Suryaningsih melakukan penelitian terhadap Operator Chainsaw dan non operator Chainsaw yang terpapar kebisingan. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah wawancara yang terstruktur dan pengukuran langsung. Wawancara dilakukan untuk mengetahui persepsi responden terhadap kebisingan. Sementara itu, untuk pengukuran dilakukan 2 macam yaitu pengukuran intensitas kebisingan dan uji daya. Hasil dari penelitian ini adalah adanya pengaruh kebisingan terhadap operator non Chainsaw, sementara itu untuk operator non chainsaw tidak terlalu terpengaruh dengan kebisingan karena pendengaran operator chainsaw sudah mengalami penurunan.

Pada tahun 2013 penelitian selanjutnya dilakukan oleh Dedy Fredianta, Listiani, dan Elisabeth Ginting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi paparan kebisingan atau mengurangi paparan bising akibat mesin di lantai produksi PT. XYZ yang bergerak di bidang produksi anti nyamuk bakar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data secara langsung melalui observasi untuk menghitung tingkat kebisingan ekuivalensi. Pengukuran kebisingan dilakukan pada 15 titik berbeda di lantai produksi selama 3 hari. Hasil dari penelitian ini adalah disarankan untuk menggunakan *earplug* dan *earmuff* untuk mengurangi paparan kebisingan yang telah melebihi ambang batas kebisingan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Haryono Setiyo dan Sri Sumiyati pada tahun 2014. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain penghalang kebisingan dengan variasi material seperti *fiber*, *foam*, dan *patchwork*. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengukuran langsung sumber kebisingan pada 30 titik yang berbeda yang selanjutnya hasil pengukuran ini akan dihitung tingkat kebisingannya dengan menggunakan Ms. Excel sehingga didapatkan nilai *Leq*. Selanjutnya, dilakukan uji coba dengan menggunakan simulator untuk menguji bariier yang digunakan. Hasil dari penelitian ini adalah pada titik 17 yang merupakan titik dengan hasil tingkat kebisingan tertinggi yaitu sebesar 96.6 dB(A). Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan nilai Transmission Loss, didapatkan hasil bahwa bahan peredam mampu mengurangi nilai tingkat kebisingan sehingga kebisingan di tempat kerja di unit laundry mampu memenuhi mutu baku tingkat kebisingan.

Tahun 2011, Novian Rizky Putra melakukan penelitian yaitu pembuatan alat sekat peredam kebisingan permanen dalam rangka upaya menurunkan kebisingan di lantai produksi CV. Rakabu Furniture. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi masalah kebisingan dengan membuat alat bantu untuk meredam kebisingan pada bagian produksi CV. Rakabu Furniture. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu meliputi studi lapangan dimana peneliti melakukan pengamatan untuk mengetahui mesin-mesin yang ada di CV. Rakabu Furniture, selanjutnya dilakukan pengukuran intensitas kebisingan pada 15 titik untuk mewakili seluruh bagian lantai produksi. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dan dengan pembagian kuisioner untuk mengetahui masalah-masalah yang dihadapi pekerja berkaitan dengan kebisingan yang ada di lantai produksi. Hasil dari penelitian ini adalah terciptanya alat bantu peredam suara bising dengan dimensi panjang 1.8 meter, tinggi 2 meter, dan lebar papan landasan 30 x 30 cm serta material perpaduan antara kayu, triplek, serta karpet.

2.1.2 Penelitian Sekarang

Penelitian yang dilakukan saat ini dilakukan pada PT. SKF Indonesia, Cakung Jakarta Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sumber kebisingan dan memberikan usulan desain noise barrier pada mesin yang menghasilkan suara bising terbesar tersebut. Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan yang ada yaitu tahap pendahuluan, tahap tinjauan pustaka, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap analisis data, dan terakhir yaitu tahap pemberian usulan. Tahap pendahuluan ini diawali dengan mengidentifikasi permasalahan yang dialami oleh operator yang ada di lantai produksi. Selanjutnya dilakukan wawancara dengan operator di lantai produksi untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan permasalahan tersebut. Tahap kedua yang dilakukan yaitu tahap tinjauan pustaka. Pada tahap ini, dilakukan *literature review* dengan cara mengumpulkan berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Pada tahap ini juga, dilakukan pencarian mengenai dasar teori yang mendukung penelitian. Tahap selanjutnya yaitu tahap pengumpulan data, yang dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran langsung intensitas kebisingan pada titik-titik tertentu di lantai produksi PT. SKF Indonesia dengan alat *Sound Level Meter*. Dari hasil ini akan terlihat daerah atau titik mana saja yang menghasilkan tingkat kebisingan paling besar. Selanjutnya masuk ke tahap pengolahan dan analisis data. Pada tahap

ini, dilakukan analisis hasil pengukuran intensitas kebisingan, sehingga dapat diketahui sumber yang menghasilkan bising terbesar. Setelah mengetahui sumber bising, dilakukan penyebaran kuisioner kepada operator yang bekerja di area bising terbesar untuk mengetahui dampak dari suara bising diterima. Tahap selanjutnya adalah tahap penyusunan QFD yang nantinya akan menjadi acuan dalam merancang usulan desain noise barrier. Penelitian ini belum pernah dilakukan oleh peneliti lain. Walaupun pada tahun 2014 pernah dilakukan penelitian pada lantai produksi PT. SKF Indonesia oleh Rezka Wistiyana, namun topik yang diangkat oleh peneliti tersebut berbeda dengan topik yang dilakukan pada penelitian ini. Peneliti tersebut memiliki judul penelitian yaitu “Monitoring Faktor Bahaya Kebisingan di Area Produksi Channel 1 – 13 PT. SKF Indonesia, Cakung Jakarta Timur”. Pada penelitian tersebut, sang peneliti hanya melakukan analisis mengenai sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang ada di PT. SKF Indonesia. Adapun usulan yang diberikan peneliti tersebut adalah PT. SKF Indonesia sebaiknya melakukan evaluasi program konservasi pendengaran untuk memastikan keberhasilan program.

Tabel 2.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu dan Saat Ini

NO	Penulis	Judul Jurnal	Sumber	Tahun Terbit	Tujuan	Metode	Objek Penelitian
1	Hamideh Razavi, Ehsan Ramezanifar, dan Jalal Bagherzadeh	Pendekatan Ekonomi untuk mengontrol Kebisingan di Industri dengan menggunakan algoritma genetik	Jurnal Internasional	2013	Mendapatkan strategi terbaik untuk menghasilkan tingkat kebisingan yang kecil dengan ongkos minimum	Pendekatan ini digambarkan ke dalam model matematis, yang akan disimulasikan ke dalam pemograman komputer.	Industri Manufaktur
2	Suryaningsih	Pengaruh Kebisingan Chainsaw terhadap persepsi dan daya konsentrasi	IPB (Bogor Agricultural University)	2011	Mengetahui pengaruh kebisingan chainsaw terhadap konsentrasi operator chainsaw dan non chainsaw	Wawancara untuk mengetahui persepsi responden terhadap kebisingan. Pengukuran langsung dilakukan dengan 2 cara, yaitu pengukuran intensitas kebisingan dan uji daya konsentrasi.	Operator Chainsaw dan non operator Chainsaw
3	Dedy Fredianta, Dr. Eng. Listiani Nurul Huda, MT; Ir. Elisabeth Ginting M. Si	Analisis Tingkat Kebisingan untuk Mereduksi Paparan Bising di PT. XYZ	E-Jurnal Teknik Industri FT USU	2013	Mengatasi paparan kebisingan akibat mesin di lantai produksi PT. XYZ.	Pengumpulan data secara observasi dengan metode perhitungan tingkat kebisingan ekuivalen. Pengumpulan data dilakukan pada 15 titik pengukuran selama 3 hari.	Industri manufaktur pembuatan obat nyamuk bakar

Lanjutan Tabel 2.1.

4	Dr. Haryono Setiyo Huboyo, ST,MT ; Sri Sumiyati ST, Msi	Pengendalian Kebisingan dengan Penghalang Bising dan Variasi Bahan Peredam pada Proses Produksi di Unit Laundry di PT. Sandang Asia Maju Abadi	Jurnal Jurusan Teknik Lingkungan- Fakultas Teknik Universitas Diponegoro	2014	Untuk mendesain penghalang kebisingan dengan variasi material seperti fiber, foam, dan patchwork.	Pengukuran kebisingan secara langsung pada 30 titik yang berbeda untuk mendapatkan nilai Leq. Lalu, dilakukan uji coba dengan menggunakan simulator untuk menguji noise barrier yang digunakan, sesuai dengan kondisi di PT. Sandang Asia Maju Abadi. Lalu, dilakukan pengukuran Transmission Loss (TL).	Industri Manufaktur (PT. Sandang Asia maju Abasi)
5	Novian Rizky Putra	Pembuatan Alat Sekat Peredam Kebisingan Permanen dalam Ranka Upaya Menurunkan Kebisingan	Universitas Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret	2011	Mengatasi masalah kebisingan yaitu dengan membuat alat bantu untuk meredam kebisingan pada bagian produksi CV. Rakabu Furniture.	Metode yang dilakukan meliputi studi lapangan yaitu mengobservasi mesin-mesin yang ada di CV. Rakabu Furniture, lalu melakukan pengukuran kebisingan di 15 titik yang berbeda. Pengumpulan data dilakukan juga dengan cara wawancara dan penyebaran kuisisioner.	Lantai Produksi CV. Rakabu Furniture.
6	Maris Stella Gracia	Analisis Sumber Kebisingan dan Usulan Noise Barrier untuk Mengurangi Kebisingan	Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta	2018	Menganalisis sumber bising, dan memberikan solusi berupa perancangan noise barrier untuk mengurangi kebisingan	Pengukuran langsung dengan SLM, penyebaran kuisisioner dan wawancara, dan perancangan desain menggunakan QFD	PT. SKF Indonesia

2.2. Dasar Teori

Pada sub bab ini, akan dijelaskan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian.

2.2.1. Lingkungan Fisik Tempat Kerja

Lingkungan fisik tempat pekerja bekerja memiliki banyak bahaya baik langsung ataupun tidak langsung dan dapat membahayakan pekerja. Bahaya lingkungan fisik di lingkungan kerja tersebut adalah sebagai berikut:

- Bahaya penyakit dan biologis
- Bahaya kimia
- Bahaya dari temperatur udara dan panas atau suhu
- Bahaya dari kualitas udara yang buruk
- Bahaya dari pencahayaan yang buruk
- Bahaya warna
- Bahaya kebisingan

Kualitas lingkungan fisik pekerja yang buruk akan mempengaruhi baik secara langsung ataupun tidak langsung pada produktivitas pekerja. Pada akhirnya, akan merugikan pekerja secara individual, ataupun perusahaan. Berikut adalah gambaran sebab akibat antara kualitas lingkungan tempat kerja dan dampaknya.



Gambar 2.2. Hubungan Sebab Akibat antara Kualitas Lingkungan Kerja dan Dampak yang Ditimbulkan

Sumber: Tambunan, 2005

2.2.2. Pengertian Gelombang

Gelombang adalah bentuk lain dari getaran yang merambat. Gelombang merambat melalui medium, yaitu udara, air ataupun benda padat. Gelombang dibedakan menjadi dua yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambat tegak lurus dengan

arah getarnya. Sementara itu gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar dengan arah getarnya. Gelombang yang terdengar sebagai bunyi pada telinga manusia adalah gelombang longitudinal dengan frekuensi 20 – 20.000 Hz (Mediastika, 2005).

Gelombang bunyi diukur dalam satuan frekuensi, panjang gelombang, dan kecepatan rambat gelombang. Panjang gelombang adalah jarak dua titik yang saling berurutan, contohnya jarak antara dua puncak gunung. Gelombang bunyi yang memiliki panjang gelombang yang panjang, maka semakin kuat bunyi tersebut. Frekuensi (dalam satuan Hertz / Hz) adalah banyaknya getaran dalam satu detik.

Bunyi terjadi karena adanya benda yang bergetar. Getaran tersebut lalu menyentuh partikel lain di sekitarnya. Lalu, partikel tersebut kembali meneruskan energi yang diterimanya ke partikel lain yang ada di sekitarnya. Begitu seterusnya, dan inilah yang dinamakan perambatan bunyi atau gelombang yang merambat. Pada akhirnya, rambatan gelombang tersebut diterima oleh telinga manusia (Mediastika, 2005).

a. Intensitas Bunyi

Intensitas diartikan sebagai energi yang dipindahkan oleh gelombang melalui satuan luas, dan sebanding dengan kuadrat amplitudo. Intensitas bunyi memiliki satuan berupa daya per satuan luas (W/m^2). Sementara itu, intensitas suara diartikan sebagai aliran energi suara yang menembus satu luasan tertentu. Berikut rumus untuk intensitas suara:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- I : Intensitas suara (W/m^2);
- P : daya suara (W);
- A : luas permukaan yang ditembus suara (m^2);
- r : jarak titik dari sumber suara (m)

(Sasongko dkk., 2000).

Sementara itu, tingkat intensitas bunyi dinyatakan dalam satuan desibel (dB), yang diambil dari nama penemu telepon, Alexander Graham Bell. Berikut ini rumus tingkat intensitas bunyi:

$$B = 10 \log \frac{1}{10} \quad (2.2)$$

Keterangan:

B : tingkat intensitas suara (dB);

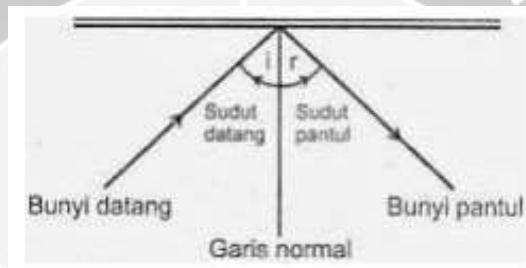
I : Intensitas suara (W/m^2);

I_0 : Intensitas suara acuan (10^{-12}W/m^2).

(Giancoli, 2001).

b. Pemantulan Bunyi

Gelombang bunyi dapat mengalami pemantulan ataupun ditransmisikan jika mengenai permukaan baik padat ataupun cair. Gelombang yang terpantul tersebut memiliki sudut pantul yang sama dengan sudut datang (Tipler, 1991).



Gambar 2.3. Pemantulan Bunyi (Tipler, 1991)

Perancangan ruang perlu memperhatikan sifat pemantulan bunyi. pemantulan bunyi pada ruangan dapat menyebabkan gaung suara yang tidak diinginkan. Oleh karena itu diperlukan perancangan ruang yang tepat, agar distribusi bunyi merata dengan baik dan tidak terjadi cacat akustik. Salah satu cara menciptakan distribusi bunyi yang baik yaitu dengan memberikan lapisan pemantul dan penyerap bunyi pada dinding ruang (Doelle, 1985).

c. Penyerapan Bunyi

Penyerapan bunyi pada ruang dapat dilakukan dengan cara memberikan bahan penyerap atau sering disebut dengan bahan peredam. Bahan peredam ini dapat berupa bahan berpori, kain lembut, sabut dan bahan lainnya. Bunyi yang mengalami penyerapan atau diserap biasanya berubah bentuk energinya menjadi bentuk energi panas ketika melewati suatu permukaan, walaupun dalam jumlah yang sangat kecil. Penyerapan bunyi dapat dilakukan dengan cara: memberikan lapisan penyerap pada permukaan dinding, ataupun atap. Memberikan tanaman yang dapat menyerap bunyi pada sudut-sudut ruangan, mendesain ruangan dengan sirkulasi udara yang baik. Efisiensi penyerapan

bunyi dinyatakan dalam bentuk koefisiensi absorpsi bunyi (*Noise Redusction Coefficient*). NRC menunjukkan efesiensi bunyi yang diserap oleh bahan peredam baik sebagian ataupun seluruhnya. Koefisien ini dinyatakan dalam bentuk α . Nilai NRC berada dalam kisaran 0 sampai 1. Semakin mendekati angka 1 maka, semakin baik bahan peredam tersebut (Dowell, 1978).

Ketika bunyi mengenai suatu bahan peredam seperti wool, soft board, karpet, dan busa, bunyi tersebut dapat mengalami pemantulan, difusi, difraksi ataupun diserap oleh bahan. Energi yang diserap oleh bahan akan diubah dalam bentuk lain. Berikut ini rumus untuk menjelaskan energi yang diserap oleh bahan peredam, transmission loss, dan energi yang dipantulkan:

$$\begin{aligned} \text{Energi bunyi datang (Ed)} &= \text{Energi bunyi keluar (Et)} \\ &= R + A + TL \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

Keterangan:

- R : Energi bunyi yang dipantulkan (dB);
- A : Energi bunyi yang diserap (dB);
- TL : *Transmission Loss* (dB)

Transmission Loss (TL) adalah kemampuan bahan untuk tidak meneruskan bunyi dari sumber bunyi ke ruang lain atau ke penerima bunyi. TL dapat dikatakan juga sebagai energi yang hilang akibat gelombang yang melewati penghalang atau peredam (Hemond, 1982).

Tabel 2.2. Koefisien Penyerapan Bunyi dari Material Akustik

Material	Frekuensi					
	150	250	500	1000	2000	4000
Gypsum board (13mm)	0.29	0.1	0.05	0.04	0.07	0.09
Kayu	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.07
Gelas	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Beton yang dituang	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Bata tidak dihaluskan	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07

Sumber: Doelle, 1993

2.2.3. Sumber Suara

Pada tempat kerja, sumber suara yang dihasilkan berasal dari berbagai aktivitas atau dapat dikatakan bahwa sumber suara yang dimiliki beragam. Berikut ini beberapa sumber suara yang ada di tempat kerja:

a. Suara Mesin

Mesin-mesin penghasil suara di tempat kerja bervariasi, maka hasil suara yang dikeluarkanpun akan memiliki karakteristik sendiri. Salah satu contohnya yaitu mesin genset yang merupakan mesin pembangkit tenaga listrik. Mesin ini menghasilkan suara bising yang rendah yaitu berkisar $< 400\text{Hz}$.

b. Benturan antara alat kerja dan benda kerja

Salah satu contoh aktivitas yang dapat menghasilkan suara bising mencapai 80 – 120 dB yaitu kegiatan menggerinda permukaan logam (penghalusan permukaan benda kerja), proses penyemprotan, proses pengelangan, proses pengupasan, proses memalu, dan proses memotong kayu atau metal.

c. Aliran material

Aliran material baik dalam bentuk cair, metal, kayu, batu, kerikil dapat menghasilkan kebisingan di tempat kerja. Contohnya yaitu perpindahan material metal dengan menggunakan proses pencurahan atau *gravity based*, dan perpindahan material cair melalui pipa distribusi.

d. Manusia

Sumber suara dari manusia memang tidak menghasilkan kebisingan yang besar atau dapat terbilang kecil, namun tetap memerlukan perhatian dan diperhitungkan. Contohnya kegiatan pekerja pada saat mengobrol atau berteriak pada saat bekerja.

2.2.4. Kebisingan

Suara yang ada di tempat kerja dapat berubah menjadi berbahaya (*occupational hazard*) jika suara tersebut dirasa sudah mengganggu pekerja baik secara fisik (menyebabkan penyakit gangguan pendengaran) ataupun psikis (konsentrasi dan komunikasi terganggu). Menurut National Institute of Occupational Safety & Health (NIOSH), suara dapat berubah menjadi polutan jika suara memiliki tingkat bising $> 104\text{ dBA}$, dan kondisi dimana pekerja harus menerima tingkat bising $> 85\text{ dB}$ selama lebih dari 8 jam.

Berikut ini adalah beberapa definisi kebisingan dari beberapa ahli:

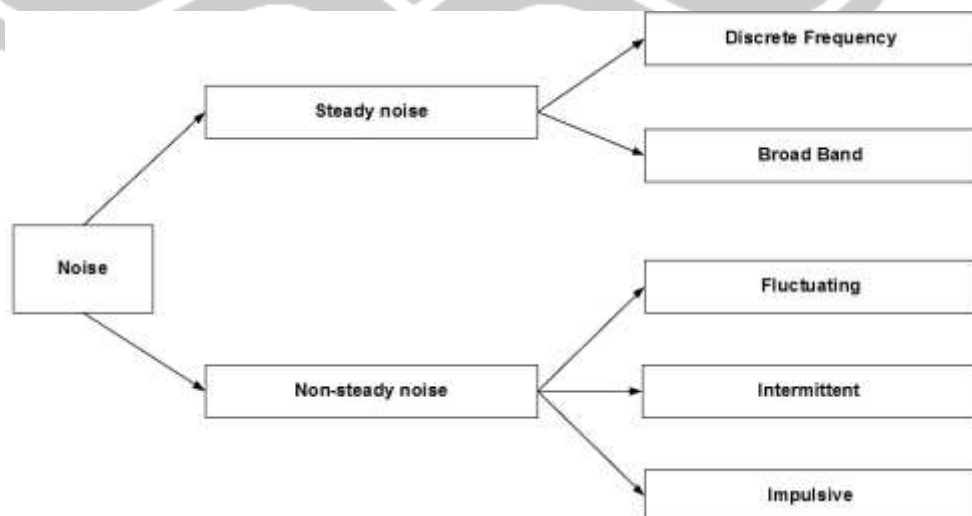
1. Patrick (1997) kebisingan adalah bunyi atau suara yang tidak memiliki kesesuaian waktu dan tempat.

2. Sasongko (2000) kebisingan adalah suara atau bunyi yang tidak diinginkan karena tidak memiliki kesesuaian ruang dan waktu sehingga menyebabkan gangguan pada kenyamanan ataupun kesehatan yang terkena paparan kebisingan.
3. Ikron I Made Djaja, Ririn A.W (2005) mengemukakan bahwa kebisingan dapat diartikan sebagai suara yang mengganggu dan berbahaya bagi kesehatan yang terpaparnya.

a. Klasifikasi Kebisingan

Kebisingan di tempat kerja pada umumnya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu kebisingan tetap dan kebisingan tidak tetap. Berikut ini penjelasannya:

1. Kebisingan tetap (*steady noise*) dibagi kembali menjadi 2 jenis, yang pertama yaitu kebisingan dengan frekuensi terputus (*discrete frequency noise*) adalah kebisingan dengan “nada” murni yang memiliki frekuensi beragam contohnya suara mesin, dan kipas. Lalu jenis yang kedua yaitu *Broad band Noise* hampir sama dengan *discrete frequency noise*, yang membedakannya yaitu pada frekuensi yang lebih bervariasi atau bukan “nada” murni.
2. Kebisingan tidak tetap (*unsteady noise*) dibagi kembali menjadi 3 jenis, yang pertama yaitu kebisingan fluktuatif (*fluktuatif noise*) adalah bising yang selalu berubah selama rentang waktu tertentu. Lalu yang kedua adalah *Intermittent noise* adalah kebisingan yang terputus-putus dan besarnya dapat berubah, contohnya suara bising lalu lintas. Terakhir adalah *Impulsive noise* adalah bising yang dihasilkan oleh suara berintensitas tinggi dalam waktu relatif singkat, contohnya letupan senjata api.



Gambar 2.4. Jenis-jenis Kebisingan

b. Sumber Kebisingan

Sumber kebisingan yang ada di tempat kerja dapat diakibatkan beberapa hal. Berikut ini penjelasan untuk sumber-sumber kebisingan yang ada di tempat kerja:

1. Pengoperasian mesin-mesin produksi yang umurnya sudah tua.
2. Pengoperasian mesin kerja pada kapasitas kerja tinggi dan dalam waktu yang cukup panjang.
3. Perawatan, perbaikan dan peremajaan mesin yang ala kadarnya, contohnya hanya pada saat mesin rusak parah.
4. Melakukan modifikasi atau penggantian komponen mesin produksi tanpa memperhatikan kaidah keteknikan yang benar, bahkan menggunakan komponen mesin tiruan.
5. Pemasangan dan peletakan komponen yang tidak benar, longgar, terbalik, terutama pada bagian penghubung antar modul mesin.
6. Penggunaan alat bantu kerja yang tidak sesuai, misalnya penggunaan palu untuk membantu membuka baut.

c. Pengaruh Paparan Kebisingan

Dampak negatif dari paparan bising dapat berakibat bagi pekerja secara individual, organisasi ataupun masyarakat sekitar. Secara umum dampak kebisingan dibagi menjadi dua yaitu dampak *auditorial* dan dampak *nonauditorial*. Berikut adalah penjelasannya:

a. Dampak Auditorial

Dampak auditorial adalah dampak dari kebisingan yang mengakibatkan fungsi pendengaran pekerja terganggu. Dampak pendengaran yang terjadi pada pekerja dapat berupa dampak sementara atau dapat disembuhkan (*temporary threshold shift*), ataupun dampak permanen yang tidak dapat disembuhkan (*permanent threshold shift*). Gangguan pendengaran ringan hingga berat yang dialami pekerja misalnya saja sulit untuk membedakan kata-kata yang hampir mirip seperti F, S, SH, H, CH, dan C lembut. Dampak lain yang dirasakan yaitu adanya bunyi “deringan” di telinga. Dalam dunia medis hal ini disebut dengan tinnitus, dimana telinga mengalami iritasi karena kontak telinga dengan suara bising yang terlalu lama.

b. Dampak Nonauditorial

Dampak *nonauditorial* adalah dampak kebisingan yang terjadi pada sistem keseimbangan, cardiovascular dimana tekanan darah naik, denyut jantung yang

meningkat, dan meningkatnya ardenalin. Selain itu kebisingan juga mengakibatkan kualitas tidur yang menjadi buruk (*noise induced sleep*), bahkan juga dapat mengakibatkan stress pada pekerja.

d. Nilai Ambang Batas Kebisingan

Niali ambang batas (NAB) yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Tenaga Kerja (Kepmennaker No KEP-51/MEN/1999) yaitu standar faktor-faktor lingkungan kerja yang masih diperbolehkan untuk pekerja agar pekerja tidak menerima penyakit atau gangguan kesehatan.

Berikut ini ditampilkan NAB kebisingan yang diperbolehkan berdasarkan keputusan diatas:

Tabel 2.3. Nilai Ambang Batas Kebisingan oleh Kepmenaker No KEP-51/MEN/1999

Waktu pemajanan per hari		Intensitas Kebisingan dalam dBA
8	Jam	85
4		88
2		91
1		94
30	Menit	97
15		100
7,5		103
3,75		106
1,88		109
0,94		112
28,12	Detik	115
14,06		118
7,03		121
3,52		124
1,76		127
0,88		130
0,44		133
0,22		136
0,11		139

e. Pengendalian Kebisingan

Pengendalian kebisingan dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu pendekatan *engineering control*, dan pendekatan administratif. Berikut ini penjelasan untuk keduanya:

1. Pendekatan *engineering control*

Dalam mengendalikan kebisingan melalui pendekatan *engineering control* ada 3 hal yang dapat dilakukan yaitu pengendalian sumber kebisingan, pengendalian perantara kebisingan, dan pengendalian penerima kebisingan (pekerja). Pengendalian sumber bising dapat dilakukan dengan lima cara: pertama yaitu dengan perawatan rutin mesin. Mengganti komponen mesin yang sudah tua, aus, atau mengeras seperti *rubber seal*, *gear*, *time belt*. Selain itu pemberian

pelumas pada bagian mesin juga dapat mengurangi suara bising yang dihasilkan. Cara kedua dilakukan dengan penggantian proses, misalnya proses pengelasan sebagai proses *riveting* atau proses panas (*hot working*) sebagai pengganti proses dingin. Cara ketiga yaitu dengan mengurangi intensitas gaya yang mengenai bidang getar contohnya dengan mengurangi kecepatan komponen rotasional. Cara keempat dilakukan dengan cara mengurangi respon getaran permukaan yang bergetar. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menambah penegar, menambah kekuatan material, ataupun dengan cara menambah massa komponen pendukung permukaan yang bergetar. Cara kelima yaitu dengan mengurangi radiasi suara yang dihasilkan oleh permukaan yang bergetar. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengurangi ukuran keseluruhan bidang getar, melubangi permukaan, ataupun dengan cara menyeimbangkan tekanan pada bidang getar. Cara keenam dilakukan dengan mengurangi suara yang dihasilkan oleh aliran gas. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan mufflers, mengurangi tekanan dalam aliran, dan dengan mengurangi turbulensi udara. Cara ketujuh dengan mengurangi volume berat material yang bergerak. Cara kedelapan yaitu dengan mengurangi transmisi suara di udara.

2. Pendekatan administratif

Pengendalian administratif dilakukan dengan cara pemberian peraturan atau SOP (Standar Operating Procedures). SOP dapat diartikan sebagai instrumen perusahaan berupa peraturan-peraturan kerja yang harus dipatuhi oleh seluruh karyawan. Bentuk pengendalian administratif dapat berupa penetapan peraturan rotasi kerja. Peraturan ini dikeluarkan oleh ahli K3 yang bertujuan untuk mengurangi dampak kebisingan bagi pekerja. Cara kedua dilakukan dengan penetapan peraturan atau keharusan bagi pekerja untuk beristirahat dan makan di tempat yang tidak bising. Cara ketiga dilakukan dengan mengharuskan pekerja untuk menggunakan PPE saat berada pada tempat tertentu. Cara keempat dapat dilakukan dengan cara memberikan sanksi yang tegas bagi para pekerja yang melanggar peraturan yang ada. Pemberian sanksi ini dapat memberikan efek jerah sehingga karyawan dapat mematuhi peraturan yang ada. Cara lain yang biasanya digunakan oleh perusahaan adalah dengan melakukan *hearing conservation program*. *Hearing conservation program* (HCP) adalah program perusahaan untuk mencegah kehilangan pendengaran pada pekerja akibat kebisingan (*Noise Induced Hearing Loss*). Program HCP dapat dilakukan

dengan cara: pengawasan kebisingan, perlindungan pendengaran, tes pendengaran, dan pelatihan.

2.2.5. Metode Pengukuran Tingkat Bising

Menurut Nasri (1997), jika kita ingin mengetahui tingkat kebisingan yang ada di lingkungan, maka kita harus melakukan pengukuran kebisingan pada lingkungan tersebut. Untuk melakukan pengukuran tingkat kebisingan yang ada di lingkungan tersebut, alat ukur Sound Level Meter dapat digunakan. Untuk itu, kita perlu mengetahui cara atau metode pengukuran kebisingan yang tepat. Berikut ini adalah metode pengukuran kebisingan yang dapat dilakukan:

a. Pengukuran dengan menggunakan peta kebisingan

Pengukuran kebisingan dengan menggunakan peta kebisingan membantu pengukur untuk mengetahui mengenai kondisi kebisingan yang akan diukur dalam area tertentu yang ingin diukur. Untuk melakukan pengukuran ini, diperlukan layout atau gambar area pengukuran pada peta berskala yang sudah disesuaikan dengan area yang ingin diukur. Jika melakukan pengukuran kebisingan dengan cara ini, maka pengukur dapat membagi area bising kedalam beberapa warna tertentu. Warna pertama yaitu warna hijau untuk area yang memiliki tingkat kebisingan yang kurang dari 85 dB. Untuk warna kuning adalah area yang memiliki tingkat kebisingan antara 85 – 95 dB, sementara itu untuk warna merah adalah area yang memiliki tingkat kebisingan lebih dari 95 dB.

b. Pengukuran dengan menggunakan titik sampling

Untuk pengukuran dengan menggunakan titik sampling, adalah pengukuran yang dilakukan jika peneliti menduga adanya kebisingan yang melebihi batas ambang di beberapa lokasi tertentu. Dengan melakukan jenis pengukuran kebisingan ini, maka kita akan mengetahui dan mengevaluasi kebisingan dan penyebabnya yang disebabkan oleh peralatan sederhana seperti kompresor atau generator. Untuk pengukuran kebisingan harus ditentukan misalnya 3 meter dari objek dan ketinggiannya 1 meter. Mikrofon alat pengukur kebisingan juga harus diperhatikan.

c. Pengukuran dengan menggunakan *Grid*

Untuk jenis pengukuran kebisingan dengan menggunakan *Grid* yaitu cara pengukuran kebisingan dengan membuat titik sampel pengukuran pada lokasi yang diinginkan. Untuk titik sampling pengukuran harus dibuat dalam jarak interval yang sama pada semua area pengukuran. Untuk pengukuran

kebisingan nantinya dibagi menjadi kotak-kotak yang berukuran serta jarak yang sama misalnya 5 m x 5 m.

Cara pengukuran yaitu sebagai berikut:

- a. Buatlah terlebih dahulu peta grid pada lokasi yang ingin diukur.
- b. Letakkan alat sound level meter pada posisi yang dapat mencakup atau mewakili tingkat kebisingan di area yang ingin diukur.
- c. Mengaktifkan alat ukur kebisingan (Sound Level Meter).
- d. Ambillah data berdasarkan jumlah titik yang telah ditentukan.

Sementara itu, untuk melakukan pengukuran tingkat kebisingan di lingkungan dapat mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-48/MENLH/11/1996. Pengukuran tingkat kebisingan dapat dilakukan dengan menggunakan alat Sound Level Meter (SLM), dengan kemampuan ukur setiap 5 detik selama 10 menit total waktu pengukuran.

Pengukuran dapat dilakukan selama 24 jam periode aktivitas (Lsm), dimana aktivitas pada siang hari selama 16 jam (Ls) pada pukul 06.00 – 22.00, sementara itu untuk pada malam hari (Lm) selama 8 jam yaitu pada pukul 22.00 – 06.00. Untuk setiap kali pengukuran yaitu pada siang hari harus mewakili beberapa periode minimal 4 pengukuran, sementara itu pada malam hari melakukan minimal 3 periode pengukuran. Berikut ini adalah contoh pembagian periode pengukuran pada siang hari dan malam hari:

- a. L1 pukul 08.00, mewakili periode 06.00 – 09.00
- b. L2 pukul 10.00, mewakili periode 09.00 – 11.00
- c. L3 pukul 13.00, mewakili periode 11.00 – 14.00
- d. L4 pukul 15.00, mewakili periode 14.00 – 17.00
- e. L5 pukul 20.00, mewakili periode 17.00 – 22.00
- f. L6 pukul 23.00, mewakili periode 22.00 – 00.00
- g. L7 pukul 03.00, mewakili periode 00.00 – 03.00
- h. L8 pukul 05.00, mewakili periode 03.00 – 06.00

Lalu, jika sudah dilakukan pengukuran kebisingan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan tingkat bising pada siang hari, malam hari ataupun siang-malam dengan rumus sebagai berikut ini:

$$Leq = 10 \log \left\{ \frac{1}{N} \times (T_n \times 10^{(0.1 \times L_n)} + \dots + T_n \times 10^{(0.1 \times L_n)}) \right\} \text{ dB} \quad (2.4)$$

L_s (pengukuran pada siang hari) dihitung dengan rumus:

$$L_S = 10 \log \left\{ \frac{1}{16} \times (T_1 \times 10^{(0.1 \times L_1)} + T_2 \times 10^{(0.1 \times L_2)} \dots + T_4 \times 10^{(0.1 \times L_4)}) \right\} \text{ dB} \quad (2.5)$$

L_M (pengukuran pada malam hari) dihitung dengan rumus:

$$L_M = 10 \log \left\{ \frac{1}{8} \times (T_5 \times 10^{(0.1 \times L_5)} + T_6 \times 10^{(0.1 \times L_6)} \dots + T_8 \times 10^{(0.1 \times L_8)}) \right\} \text{ dB} \quad (2.6)$$

L_{SM} (pengukuran pada malam hari) dihitung dengan rumus:

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \times (16 \times 10^{(0.1 \times L_S)} + 8 \times 10^{(L_M + 5)}) \right\} \text{ dB} \quad (2.7)$$

Keterangan simbol :

L_{eq} : Tingkat kebisingan sinambung yang setara atau *Equivalent Continuous Noise* adalah tingkat kebisingan dari nilai bising yang berubah-ubah selama periode waktu tertentu yang setara dengan tingkat kebisingan dari kebisingan yang tetap pada selang waktu yang sama.

L_S : L_{eq} pada waktu siang hari

L_M : L_{eq} pada waktu malam hari

L_{SM} : L_{eq} pada waktu siang dan malam hari

T_n : selang waktu yang ditentukan

L_n : Tingkat bising

n : Interval ke -

Selanjutnya, nilai L_{SM} dibandingkan dengan nilai ambang batas dengan toleransi +3 dB.

Selanjutnya, untuk mengetahui waktu maksimum paparan bising yang diterima oleh pekerja berdasarkan tingkat bising di area kerjanya, dapat dilakukan perhitungan menggunakan metode NIOSH. Menurut NIOSH, pekerja sebaiknya tidak menerima paparan bising lebih dari 8 jam per hari. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung waktu paparan maksimum yang boleh diterima oleh pekerja:

$$T = \frac{480}{2^{(L-85)/3}} \quad (2.8)$$

T = Waktu Maksimum Paparan Bising yang diterima Pekerja (Menit)

L = Tingkat bising (dB)

2.2.6. Peta Kebisingan

Peta kebisingan adalah peta yang menggambarkan pemetaan atau distribusi kebisingan pada area pengukuran. Peta kebisingan dapat digunakan sebagai pedoman untuk melakukan perbaikan atau pencegahan akibat bahaya kebisingan. Pada peta kebisingan ini terdapat garis kontur kebisingan yang disimbolkan yang menggambarkan titik-titik pengukuran tingkat kebisingan. Fungsi peta kebisingan yaitu:

- a. Dengan membuat peta kebisingan, maka dapat diketahui persebaran kebisingan pada daerah pengukuran sehingga dapat ditentukan cara pencegahan akibat bahaya kebisingan yang melebihi ambang batas.
- b. Peta kebisingan dapat membantu perusahaan dalam melaksanakan salah satu program *Hearing Conservation*.

2.2.7. Software Surfer 10

Software Surfer adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat peta kontur berdasarkan Peta Grid. Dengan menggunakan software surfer ini, maka distribusi kebisingan yang telah diukur pada area tertentu dapat tergambarkan. Dengan software surfer, kita dapat melihat titik atau area yang memiliki tingkat bising terbesar. Area yang memiliki tingkat bising terbesar ditandai dengan area yang berwarna merah pekat. Pembagian warna area dapat disesuaikan oleh pengguna. Biasanya, semakin merah area tersebut, maka semakin tinggi tingkat bisingnya. Software ini biasanya digunakan oleh ilmu geologi atau tanah sebagai media untuk menggambarkan kontur wilayah permukaan bumi. Sampai saat ini, software surfer sudah mencapai versi 15.

2.2.8. Software AUTOCAD

Software AUTOCAD adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat gambar dalam bentuk 2D ataupun 3D. Software ini dikembangkan oleh Autodesk. Software ini biasanya digunakan oleh insinyur teknik (sipil, arsitek, mesin), dan desain interior. Dengan software ini, pengguna dapat membuat gambar secara detail, dengan skala yang dapat disesuaikan. Dilengkapi dengan tools yang lengkap, pengguna dapat menggunakan software ini dengan mudah. Format yang digunakan untuk menyimpan file yang dibuat bisa dalam bentuk DWG, DXF, dan DWF.

2.2.9. Software CATIA

Software CATIA adalah perangkat lunak yang memungkinkan pengguna untuk memodelkan produk apapun dalam bentuk 3D. Software ini biasanya digunakan oleh insinyur teknik seperti mesin, teknik industri dan desain interior. Perangkat ini hanya bisa digunakan pada sistem operasi Window. Pengguna juga dapat membuat bentuk 3D dari bentuk 2D. Keunggulan dari software ini yaitu pengguna dapat meng*assembly* komponen dari produk yang dibuat.

2.2.10. Perancangan Produk

Perancangan produk adalah perencanaan dan penetapan material, geometri, dan cara produksi produk baru ataupun produk yang baru dikembangkan. Dalam merancang suatu produk bukan hanya semata-mata mengenai menggambar produk tersebut, tetapi lebih penting yaitu bagaimana ‘pembuat produk’ membangun proses pemikiran untuk menciptakan produk yang sesuai dengan keinginan pengguna. Oleh karena itu dapat dikatakan perancangan produk adalah proses penyusunan konsep untuk menciptakan produk yang sesuai dengan keinginan konsumen dalam bentuk gambar teknik. Dalam merancang bangun (*desing*) yang dituangkan dalam bentuk gambar teknik, maka ada empat informasi yang terkandung di dalamnya yaitu:

- a. Bentuk serta dimensi dari komponen
- b. Bahan material yang digunakan
- c. Teknik pembuatan produk
- d. Teknik atau cara merakit produk tersebut hingga menjadi produk yang utuh.

Metode perancangan produk diperlukan dalam perancangan suatu produk. Metode perancangan produk dapat diartikan sebagai urutan langkah atau prosedur, alat bantu dan teknik tertentu yang diperlukan dalam merancang produk. Metode perancangan produk sendiri dibagi menjadi 2 metode yaitu metode rasional dan metode kreatif. Dalam penelitian ini, metode perancangan produk yang akan dibahas adalah metode rasional.

a. Metode Rasional

Metode rasional adalah metode perancangan produk dengan cara *checklist* (daftar periksa). Dengan cara periksa ini, kita dapat mengidentifikasi semua hal yang diperlukan dalam perancangan produk tanpa harus takut kekurangan salah satu unsur. Dengan metode *checklist* ini juga, kita dapat menyusun proses, menyusun kerangka ‘*teamwork*’ untuk membantu proses pembuatan produk, dan

melakukan pembagian tugas. Cara *checklist* ini tersusun dari berbagai pertanyaan yang akan ditanyakan pada awal perancangan atau daftar kriteria, standard yang akan diwujudkan pada akhir perancangan.

Metode rasional sendiri terdiri dari 7 tahapan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai 7 tahapan tersebut:

i. Tahap 1 : Klarifikasi Tujuan

Pada tahap ini, perancang diminta untuk mengklarifikasikan tujuan, sub tujuan, dan hubungan sub tujuan dengan sub tujuan yang lainnya yang ingin dicapai dari perancangan produk. Untuk membantu dalam mengklarifikasikan tujuan tersebut, pohon tujuan atau *Objective Tree* dapat digunakan. Adapun prosedur yang diperlukan untuk tahap 1 ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan Daftar Tujuan Rancangan

Daftar tujuan rancangan bisa didapatkan dari hasil observasi langsung kepada konsumen yang menjadi target pengguna produk dengan cara mewawancarai langsung konsumen ataupun dengan memberikan kuisioner. Setelah observasi dan kuisioner telah dilakukan, maka hasil tersebut nantinya akan dibahas kembali dengan tim perancangan produk untuk menentukan tujuan rancangan produk.

2. Mengurutkan Daftar Rancangan Tujuan ke dalam Higher-level dan Lower-level Objective

Daftar tujuan yang telah ditentukan oleh tim perancangan selanjutnya akan dimasukkan atau diklasifikasikan ke dalam tingkatan hierarki.

3. Menggambarkan Diagram Pohon Tujuan

Setelah rancangan tujuan sudah siap, selanjutnya dibuat diagram pohon tujuan. Dalam diagram pohon tujuan ini cabang atau akar yang ada menunjukkan hubungan yang artinya cara untuk mencapai tujuan tersebut atau mengapa atau alasan suatu cara harus ditempuh, dilakukan atau dibuat. Pada saat menggambar pohon tujuan, nantinya akan dibagi ke dalam tujuan primer, sekunder dan tertier.

ii. Tahap 2 : Penetapan Fungsional

Pada tahap ini, akan ditampilkan fungsi dan sub fungsi yang akan diberikan pada produk dan batas-batas sistem perancangan produk. Untuk menggambarkan fungsi produk ini maka dapat menggunakan analisis fungsi dengan *black box* dan *transparent box*.

Adapun prosedur yang digunakan untuk membuat sistem black box adalah sebagai berikut:

1. Nyatakanlah keseluruhan desain sebagai konversi dari input ke output (*black box*)
2. Jabarkan atau uraikan fungsi keseluruhan ke dalam kelompok fungsi tujuan
3. Gambarkanlah diagram blok yang memperlihatkan interaksi diantara sub fungsi
4. Gambarkan diagram sistem
5. Carilah komponen yang cocok untuk melakukan sub fungsi dan interaksi

iii. Tahap 3 : Penetapan Spesifikasi

Pada tahap ini, dilakukan penetapan spesifikasi kinerja yang akurat dari suatu alternatif solusi rancangan produk yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Perancangan produk yang dilakukan tentunya memiliki batasan-batasan seperti biaya, kemampuan pembeli, ukuran dan berat produk. Maka, kita perlu menyatakan keterbatasan-keterbatasan tersebut ke dalam performansi yang diinginkan (*Performance requirement*). Dari sini kita akan tahu spesifikasi performansi yang diinginkan oleh konsumen.

Dalam menetapkan spesifikasi, terdapat prosedur yang harus dilakukan yaitu:

1. Mempertimbangkan tingkatan solusi yang dapat digunakan. Alternatif yang dapat dipilih bisa jadi alternatif tipe produk, produk dan ciri-ciri produk.
2. Menentukan tingkat generalisasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat generalisasi ini biasanya ditentukan oleh konsumen. Semakin tinggi derajat generalisasinya, maka semakin leluasa pula perancang produk.
3. Mengidentifikasi atribut kinerja yang diperlukan. Penentuan atribut kinerja dinyatakan dalam bentuk solusi khusus yang independen.
4. Menyatakan spesifikasi yang diperlukan untuk atribut. Spesifikasi yang digunakan nantinya harus dinyatakan dalam bentuk kuantitatif.

iv. Tahap 4 : Penyusunan QFD

Pada tahap ini perancang produk menetapkan fungsi kualitas (*Quality Function*) yang dimiliki oleh produk sehingga memenuhi keinginan pengguna. Adapun alat bantu yang dapat digunakan untuk menetapkan target karakteristik fungsi kualitas ini adalah diagram-matriks yaitu *House of Quality/HOQ*. Adapun prosedur yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kebutuhan pengguna atau konsumen dalam hal atribut. Identifikasi kebutuhan konsumen dapat dilakukan dengan menggunakan VOC (*Voice of customer*).
 2. Menentukan tingkat kepentingan atribut yang sudah ditentukan. Untuk melakukan tahap ini dapat menggunakan teknik *rank-ordering* atau *points-allocation*.
 3. Mengevaluasi atribut yang telah ditetapkan terhadap produk
 4. Menggambar matriks atribut produk yang ada terhadap karakteristik teknik. Karakteristik teknik yang mempengaruhi atribut produk harus dipastikan berbentuk dalam satuan terukur atau kuantitatif.
 5. Mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknik dengan atribut produk. Hubungan antara keduanya dapat diindikasikan dalam bentuk simbol atau angka.
 6. Mengidentifikasi interaksi yang relevan antara karakteristik teknik. Interaksi ini dimasukkan pada atap HOQ.
 7. Menetapkan target ukuran yang ingin dicapai oleh karakteristik teknik. Pada tahap ini perancang bisa mencari informasi dari produk yang sudah ada di pasaran (kompetitor) ataupun dengan cara uji coba ke pelanggan.
- v. Tahap 5 : Pembangkitan Alternatif

Pada tahap ini perancang produk melakukan pembangkitan alternatif solusi-solusi untuk merancang produk. Adapun alat bantu yang dapat digunakan untuk mendapatkan alternatif solusi yaitu dengan peta morfologi (*Morphological Chart*). Berikut ini prosedur untuk membuat peta morfologi:

1. Menyusun daftar ciri atau fungsi esensial produk. Daftar yang dibuat tidak harus panjang, tetapi tetap harus mencakup secara komprehensif fungsi produk.
2. Menyusun daftar untuk mencapai ciri-ciri atau fungsi yang telah ditetapkan. Untuk menentukan daftar ini dapat menggunakan ide baru ataupun dengan menggunakan sub solusi yang sudah diketahui.
3. Menggambar peta yang berisi solusi-solusi yang mungkin dilakukan. Pada tahap ini, perancang menggambarkan peta morfologi dari kombinasi solusi-solusi yang ada.
4. Mengidentifikasi kombinasi sub-solusi yang mungkin. Untuk menentukan alternatif kombinasi yang mungkin dibuat yaitu dengan cara rumus kombinasi.

Jika semua means (n) mempunyai jumlah yang sama maka jumlah kombinasi total adalah n^k .

vi. Tahap 6 : Evaluasi Alternatif (Weighted Objective)

Pada tahap ini, perancang melakukan evaluasi atas alternatif-alternatif yang sudah dibuat ditahap ke-5 lalu menentukan alternatif yang terbaik untuk nantinya diimplementasikan pada perancangan produk. Untuk menentukan alternatif terbaik dapat menggunakan *weighted* atau pemberian bobot. Kinerja setiap kriteria dinilai dengan cara memberikan skor. Alternatif terbaik adalah alternatif yang memiliki nilai bobot tertinggi. Metode ini disebut juga dengan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) atau *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA). Adapun prosedur yang harus dilalui untuk tahap ini adalah sebagai berikut ini:

1. Menyusun daftar tujuan atau kriteria desain. Untuk melakukannya memerlukan data dari tujuan rancangan yang telah ditetapkan pada tahap pertama.
2. Membuat urutan ranking dari daftar tujuan atau kriteria. Untuk membuat urutan ranking dapat menggunakan *pair-wise comparison*.
3. Pemberian bobot untuk setiap tujuan. Pemberian bobot dengan menggunakan skala interval, dimana jumlah dari bobot adalah 1.
4. Membuat parameter kinerja untuk masing-masing tujuan. Kriteria atau tujuan yang bersifat kualitatif ataupun kuantitatif direduksi ke dalam skala sederhana.
5. Menghitung dan membandingkan nilai utilitas relatif dari masing-masing alternatif. Cara menghitungnya adalah sebagai berikut ini:
 - Kalikan masing-masing score dengan bobot
 - Pilih alternatif terbaik dengan cara melihat jumlah score tertinggi.

Untuk menentukan bobot tiap kriteria dapat menggunakan perbandingan berpasangan, dimana kriteria yang lebih penting diberikan nilai 1 sementara itu kriteria yang kurang penting diberi angka 0 (*Zero-One*).

Kriteria	A	B	C	D	E	Jumlah	Bobot (max.100)
A		0	1	1	1	3	$3 / 11 \times 100 = 27,3$
B	1		1	1	1	4	$4 / 11 \times 100 = 36,3$
C	0	0		0	1	1	$1 / 11 \times 100 = 9,1$
D	0	0	1		1	2	$2 / 11 \times 100 = 18,2$
E	0	0	1	0		1	$1 / 11 \times 100 = 9,1$
Jumlah						11	Jumlah = 100

Gambar 2.5. Contoh Penentuan Bobot dengan Cara Zero-One

vii. Tahap 7 : Penyempurnaan Akhir

Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan hasil rancangan secara detail, yaitu dengan cara meningkatkan nilai (value) dari suatu rancangan produk.

2.2.11. Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment atau QFD adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi keinginan atau kebutuhan konsumen. QFD ini nantinya akan dijadikan dasar dalam perancangan produk. Metode QFD pada awalnya dilakukan di Jepang untuk membantu tim proyek dalam mengidentifikasi keinginan konsumen dan diinterpretasikan dalam nilai-nilai atau sasaran.

Pada metode QFD sendiri terdiri dari 9 tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Tahap 1 : Tinjauan Atribut Produk

Sebenarnya metode QFD adalah metode yang lebih berfokus pada konsumen. Oleh karena itu diperlukan peninjauan atribut-atribut produk yang mencerminkan keinginan konsumen. Untuk mendapatkan atribut-atribut ini perancang dapat menggunakan teknik-teknik kreativitas yaitu dengan cara mengumpulkan data melalui penelitian di pasar, komplain dari konsumen ataupun dengan cara analisis kecenderungan. Setelah mendapatkan atribut-atribut tersebut selanjutnya atribut tersebut dibandingkan satu dengan yang lainnya dengan cara memberikan bobot. Pemberian bobot bisa secara subjektif oleh pihak perancang produk ataupun berdasarkan hasil penelitian terhadap konsumen.

2. Tahap 2 : Mengevaluasi Produk

Pada tahap ke-2 ini, perancang produk melakukan perbandingan produk yang sudah ada di pasar (kompetitor) dengan produk yang akan dirancang. Cara membandingkannya yaitu dengan menggunakan kriteria atribut-atribut yang telah ditetapkan pada tahap-1. Dengan membandingkan produk kompetitor dan produk rancangan, maka kita akan mengetahui kekurangan dan kelebihan produk, yang nantinya akan berguna untuk menentukan peluang perbaikan dan pengembangan produk.

3. Tahap 3 : Menentukan Tujuan Proyek

Pada tahap ini, hasil evaluasi yang ada pada tahap ke-2 digunakan dan berfungsi untuk memberikan informasi terkait dengan fungsional produk yang sudah ada sekarang. Dengan demikian, perancang dapat memperkirakan peluang perbaikan dan pengembangan produk.

4. Tahap 4 : Menentukan Karakteristik Teknik

Penentuan karakteristik teknik produk adalah turunan dari kriteria atribut yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam penentuan karakteristik teknik ini yaitu: karakteristik teknik harus dalam bentuk kuantitatif atau dapat diukur, sehingga jelas nilainya.

5. Tahap 5 : Menentukan Matriks Interaksi

Tahap 5 ini adalah inti dari metode QFD. Tujuan yang telah ditetapkan pada tahap ke-3 diterjemahkan ke dalam parameter teknik. Parameter teknik ini nantinya akan dihubungkan dengan atribut produk yang digambarkan ke dalam sebuah matriks. Matriks yang telah diisi dengan parameter yang dihubungkan dengan atribut, kemudian ditentukan apakah ada keterkaitan antara satu dengan yang lainnya di setiap sel. Setelah semua sel telah diisi, maka akan menghasilkan atribut produk yang operasional, dan akan dijadikan alat untuk menetapkan prioritas dari parameter teknik.

6. Tahap 6 : Menentukan Keterkaitan atau Interaksi antar Parameter

Pada tahap 6 ini, perancang menentukan keterkaitan antara parameter satu dengan parameter yang lain. Hal ini dilakukan sebelum mencari solusi perbaikan parameter terhadap produk.

7. Tahap 7 : Menganalisis Teknis dan Sasaran Nilai

Produk yang sudah ada dipasaran dilakukan analisis kekurangan ataupun kelebihanannya. Hal ini berfungsi untuk memberikan sasaran atau tambahan nilai ke produk yang akan dirancang.

8. Tahap 8 : Menentukan Kelayakan Produk

Layak tidaknya produk dibuat ditentukan dari berbagai faktor diantaranya yaitu biaya, konsumen, dan dimensi produk. Dari hasil analisis terhadap faktor-faktor tersebut akan terlihat apakah produk yang dirancang layak atau tidak.

9. Tahap 9 : Rencana Pengembangan

Hasil akhir dari QFD adalah rencana pengembangan produk yang akan dilakukan. Hasil akhir ini bertumpu dari parameter teknik dan kemampuan dalam mengembangkan produk.